

水溶液の性質を理解するための教材開発

由上 麻子・菅原 一晴・奥沢 誠

群馬大学教育実践研究 別刷

第27号 79～85頁 2010

群馬大学教育学部 附属学校教育臨床総合センター

水溶液の性質を理解するための教材開発

由 上 麻 子¹⁾・菅 原 一 晴²⁾・奥 沢 誠³⁾

1) 群馬大学教育学研究科理科専攻

2) 前橋工科大学工学部

3) 群馬大学教育学部理科教育講座

Development of teaching materials for understanding property of aqueous solution

Asako YUGAMI¹⁾, Kazuharu SUGAWARA²⁾ and Makoto OKUSAWA³⁾

1) Department of Chemistry, Faculty of Education, Gunma University

2) Faculty of Engineering, Maebashi Institute of Technology

3) Department of Physics, Faculty of Education, Gunma University

キーワード：二酸化炭素、BTB、pH、炭酸水、水道水

Keywords: Carbon dioxide, BTB, pH, Soda water, Tap water

(2009年10月30日受理)

1. はじめに

水溶液の学習は小学校から高校、大学にまで続くものであり、このことについて総合的に取り組める教材を研究することは、有益だと考えられる。小学校5年生では「もののとけ方」の単元において「ものの溶け方」は温度やかさ、溶かすものによって異なることを学習している[1]。また、小学校6年生の「水溶液の性質」では、いろいろな水溶液の性質、酸・塩基と金属の関係、気体が溶けている水溶液についての学習も行っている。中学校1年生においては、物質の状態変化と溶解度、酸・塩基についての学習を行い基本的な知識を身につけている[2]。その後、中学校3年生では「化学変化と原子・分子」を学習し、科学的に考察する能力や見方を養う。さらに、このような学習を踏まえて高等学校における「理科総合A〈物質と人間〉」「化学I〈物質の構成〉」「化学II〈物質の変化〉」へと繋がっていき、塩の性質や物質のイオン化の仕方と割合、イ

オンの振る舞いについて系統的に学習し、身近な現象をより本質に迫り捕らえていく[3]。

本題材では、「身の回りの水溶液の性質」についてに着目し、身近な水溶液である水道水と炭酸水に関する観察・実験を行う。これまでに、水溶液の性質を理解するための教材が開発されており、水溶液における酸・塩基の関係を理解するために指示薬を用いた報告がある[4]。植物色素であるムラサキキャベツ[5]やイチゴ[6]の色素を利用して、溶液のpHを測定することもできる。これらの素材は、食品として身近なものであり生徒の興味を喚起すると考えられる。米世は、身近な環境教育を取り入れて水溶液の性質を身につける教材を提案し[7]、地域環境からの水溶液に対する取り組みもなされている[8]。一方、炭酸水を用い、水溶液の性質を考察させる教材も提案されている[9,10]。ドライアイスは理科の実験で幅広く使用されており[11]、伊福はペットボトルにドライアイスを入れ炭酸飲料を作製する実験を行っている[12]。我々も蒸留水

と水道水にそれぞれドライアイス进行溶かして作った炭酸水を過熱して二酸化炭素を除去し、溶媒の違いによる溶液の性質から、水道水が水溶液であることを理解するとともに、水溶液の性質が溶けている物質の種類と量により決まることについて理解せさせる教材を開発した。この教材のねらいは、これらの現象を「身の回りの物質」の性質についての現象と関連付けて科学的な見方や考え方を育成することにある。

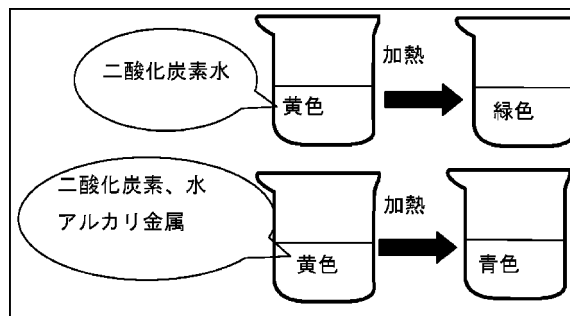


図1 加熱前後の炭酸水（上）塩無し（下）塩有り

2. 実験

2.1. 器具

ガスバーナー、三脚、金網、マッチ、燃えさし入れ、100mlビーカー、ガラス棒、雑巾、時計、プラスチック容器、軍手

2.2. 試薬

蒸留水、水道水、0.4 g/ℓ BTB 溶液（pH 試験用、関東化学）、ドライアイス、市販の炭酸水

2.3. 実践日と対象

群馬大学附属中学校において2008年12月18日1時限目に、選択理科の時間を利用して、一年生37人を対象にして1時間の実践授業を行った。

2.4. 実践内容

まず、蒸留水と水道水とにドライアイスを溶解させ二酸化炭素のみを含む炭酸水と二酸化炭素とアルカリ金属塩等を含む炭酸水とを用意し、それぞれにBTB溶液（変色域 pH 6.0～pH 7.6）を加える。この二種類の炭酸水を作るにあたって、各溶媒400mlに対して100 gのドライアイスを加えた。20℃、101325N/m²において大気中の二酸化炭素は約1.6 g/ℓ溶解することから十分なドライアイスを添加していることがわかる。20℃における蒸留水のpHは3.9、水道水では4.9を示した。24時間後においては、それぞれ6.1、6.4となった。この結果から1時間程度の実験においては、大きなpH変化は見られないものである。

この二つの炭酸水を加熱することで、二酸化炭素を除去する。その結果を比較・検討すると、塩を含まない炭酸水は中性（pH 6.8）に、塩を含む炭酸水はアルカリ性（pH 8.3）になる（図1）。この教材は、水溶液

の色の变化から液性の変化を観察できるため興味を引き出しやすいと考えた。また、酸性の水溶液であるはずの炭酸水が、加熱することによってアルカリ性を示すという特異な例を示すことで、水溶液の性質を決める要因について考えさせることを目的とする。アルカリ性になる理由として、水溶液中にアルカリ金属塩等が溶ける時、炭酸水素イオンが解離する。そのため、溶液中の炭酸水素イオンは塩が無いときより多く存在する。加熱により二酸化炭素が除去されると炭酸が減少し、炭酸水素イオンと炭酸との平衡がずれるため、水が分解され水溶液中に水酸化物イオンが増加することが考えられる（図2）。

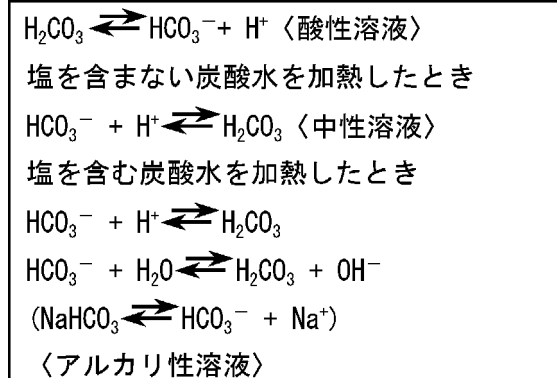


図2 原理

2.5. 水溶液の性質 アンケート

以下の用紙は、蒸留水、水道水、炭酸水の溶液の液性についての実態調査のために配布しものである。また、蒸留水、水道水に二酸化炭素を溶解し、熱するとどのような液性を示すか。炭酸水ではどのようなか、加熱する際の溶液の状態についても質問した。

1. 次の物質における溶液の性質を分類してください。

水道水、蒸留水、炭酸水、二酸化炭素を溶解させて

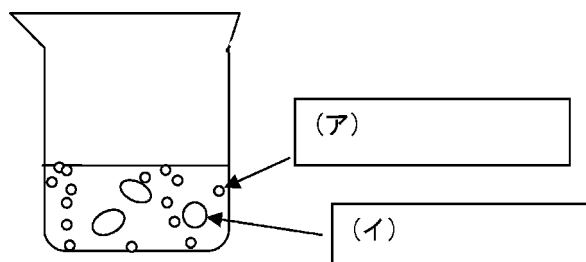
加熱することで二酸化炭素を取り除いた水道水、二酸化炭素を溶解させて加熱することで二酸化炭素を取り除いた蒸留水、二酸化炭素を取り除いた炭酸水

酸	性	
中	性	
アルカリ性		

2. 次の質問に答えてください。

問) 実験で炭酸水を造りたい。どのような作り方があ
るだろうか。

3. 下の図は炭酸水を加熱したときの溶液から出る気体の様子です。(ア)と(イ)に当てはまる気体名を書いてください。



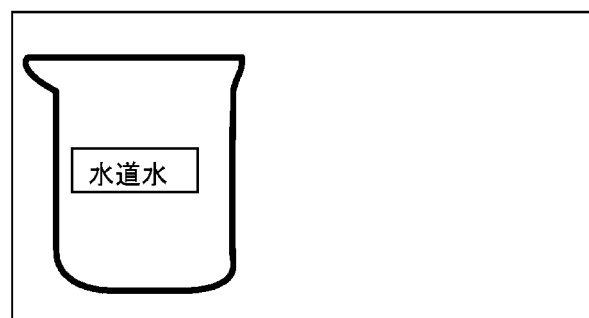
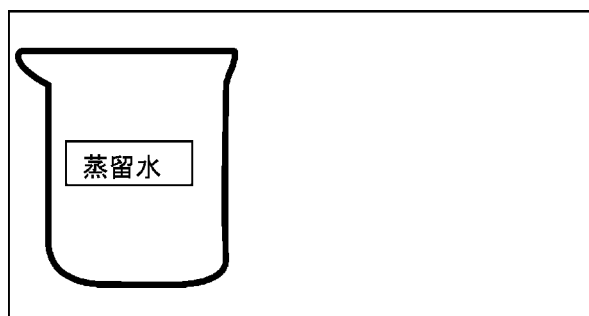
ご協力ありがとうございました

2.6. 実験操作と観察のためのシート

実験操作と観察のためのシートを作成した。炭酸水を加熱した後、冷却した際の溶液の色や状態を記入させ、その理由を考察させるものである。

実験学習カード

年 組 番



課題：炭酸水から二酸化炭素を取り除くと水溶液の性質がどうなるか調べよう

〈予想〉炭酸水を加熱したら何性（何色）になるだろうか。溶けている二酸化炭素はどのようなようになるのだろうか。その他に何が起こるだろうか。

蒸留水

○

○

水道水

○

○

〈実験方法〉

- ①蒸留水で作った炭酸水と、水道水で作った炭酸水とを40mlずつ100mlビーカーにそれぞれ入れる。また、加熱する炭酸水から出る気体が二酸化炭素なのか別のものなのかを比べるために、二酸化炭素を多量に含む市販の強炭酸水を用意する。
- ②蒸留水の炭酸水と水道水の炭酸水の色と、溶液の様子を観察してから、2本のガスバーナーを使い、それぞれの炭酸水を同時に加熱する。
※強炭酸水における溶液の様子と各炭酸水の加熱前の様子とを比較する。
- ③加熱中の各炭酸水の様子を観察する。色の変化とタイミング、ビーカーの中での気体発生の状態（二酸化炭素なのか、蒸発・沸騰によるものなのか）、溶液表面の様子などを観察する。
- ④10分ほどしたら加熱をやめ、ぬれ雑巾の上において冷ます。冷めたら溶液の様子を確認する。ビーカーを降ろすときは軍手を使い火傷に注意する。
- ⑤実験が終わったら実験結果を整理し、黒板に結果を書く。

注 意

- ・ビーカーを上からのぞき込まない
- ・10分位したら加熱をやめる
- ・ガスバーナーを三脚の下からずらしてから、火を止める

〈実験結果〉

- ◎過熱すると色や水溶液の性質、溶けている二酸化炭素の量はどのように変化しただろうか。他に変化はあっただろうか。変化が起こったとき、どのようなタイミングで何が変化しただろうか。そしてその原因は何だろうか。

(蒸留水)

	加熱前	加熱中	加熱後
溶液の色			
液性			
取り除かれる気体			
その他			

(水道水)

	加熱前	加熱中	加熱後
溶液の色			
液性			
取り除かれる気体			
その他			

〈考察〉

- 蒸留水と水道水とで観察した加熱前、加熱時、加熱後の溶液の色と溶液内の様子をかき、水道水と蒸留水との違いを踏まえた上でその理由を説明しなさい。

3. 結果と考察

3.1. 実践の成果と課題

対象とした生徒たちは中和の学習を途中まで行った状況にあった。まず、授業の目標を「水道水は水溶液であり、水溶液の性質は溶けている物質の種類と量とに依存する」ことを理解させることとした。今回、授業の最初に蒸留水を用いた炭酸水Aと水道水を用いた炭酸水Bとの二種類の炭酸水を調製した。実験の試料となる溶液を生徒たちの目の前でドライアイスを加えて炭酸水を調製することでより印象深い導入部とした。そして、それらを用いて炭酸水の加熱実験を行わせ、その結果を比較させた。加熱後は、大抵の場合には炭酸水Aは中性に、炭酸水Bはアルカリ性になることから、溶媒中に溶けている物質による水溶液の性質への影響に注目させた。それに伴い水道水は様々な物質が溶けている水溶液であり、水道水に含まれる物質の性質が実験の結果に影響することにも触れた。加熱後、炭酸水を24時間放置しても溶液が黄色を呈することはなかった。

観察の視点として水溶液の色が変化するときには、水溶液からの気体の出方が変わっていることに注目させた。水溶液中における二酸化炭素の溶解度の変化によって水溶液の性質が変わったことから、溶けている物質の性質を自然と見出せるようにした。また、BTB

溶液による水溶液の色の変化は黄・緑・青の間に中間の色があることに気付かせるよう指導した。実験上の注意点として、実験時にピーカーを覗き込む、必要以上の加熱を続ける、ガスバーナーを消すとき三脚の下で作業をするなどの行動をしないよう、実験準備前に説明し安全に配慮した。炭酸水Bがアルカリ性になる理由としては、水道水中の溶質の中には水溶液をアルカリ性にさせるような物質が溶けているからであると説明した。

生徒達はドライアイスを使って炭酸水が作られている様子に興味を示していた。蒸留水に対する認識は低かったが、水道水に何かが溶けているということについては大部分が認識していた。炭酸水がアルカリ性になることを意外な結果として示すことを予定してきた授業であったが、数人の生徒は加熱後の炭酸水Bがアルカリ性になるという予想を立てており、根拠として水道水に溶けている物質の中にはアルカリ性を示すものがあるからであると述べていた(図3)。実験結果として炭酸水Aと炭酸水Bとの二種類の炭酸水が両方とも青色になってしまう事態が生じたが、しばらく放置すると大半の炭酸水Aは緑色になった。これは溶液が冷却されると空気中から二酸化炭素が溶解したためである。一方、炭酸水Bは青色のままであり、溶液に含まれる不純物の影響をうけていることがわかる。上記の結果により授業の趣旨は伝えられたのではないかと考える。

生徒は溶液の色が変化すること自体に興味を持ち、アルカリ性になった溶液に酸性のものを加えたときの変化を見たいと自主的に主張するなど、水溶液に対する関心は高いようであった。そのようなことを気軽に実行できる点で、炭酸水という安全な素材を用いたことは有用であった。授業後回収した学習カードから、



図3 活動の様子

水道水は水溶液をアルカリ性にさせるような溶質を含んだ水溶液であり、水溶液の性質が溶質の性質によって変化することは全員に伝わったことが読み取れた。しかし、加熱後の水溶液中に二酸化炭素以外の溶質が存在すると、その後再び大気中の二酸化炭素が溶けることは無いと考えている生徒や、水道水は溶けない物質を含むためアルカリ性になると考えている生徒が複数見られた。水溶液の性質が溶質の種類と量に依存することを理解しきれておらず、一部を誤解している生徒がいることが見受けられた。実験での想定外の結果に対処仕切れなかった影響が出ており、まとめの時間に余裕を持った授業展開を考えるべきであったという反省点を残した。対応策として青色になった二種類の炭酸水双方の色は明らかに差があり、それを比較することでこの事態を回避できたと考える。また、水溶液の性質は溶けている溶質の性質に依存しており、すでに溶けている物質がある水溶液にも他の物質を溶かすことができることを補足する必要があった。観察面では、BTB溶液の色の変化を言葉で記録することは苦手な様であったが、中間色をよく観察しており、問えば微妙な変化を説明することができ、目標を達成できていた。発表の段階で、その観察事項を表現しきれていない部分もあり、色紙を用意するなど視覚的に表せる手段を用意することで、その点を改善できたと思われる。また、一度青色になった炭酸水が冷やされると一方だけ緑色に戻っていくことに気づき、水溶液の温度が低いほど気体が溶けやすくなることを説明できている生徒もいた。その意見を取り上げ、気体の学習と結びつければ、今後の学習へと発展させられる授業になるため、その意見を全体に反映できなかったことは不足な点であった。さらに、ガスバーナーや燃えさし入れの使い方などが不十分な点もあり、使い方を確認できる手段を用意するなど、安全に配慮した指導が必要だと考えられた。今後目標が達成できる授業を作るために、内容の限定や、試薬の選択、扱う時期に課題を残した。

3.2. 実態調査について

水道水、蒸留水、炭酸水、二酸化炭素を溶解させて加熱することで二酸化炭素を取り除いた水道水、二酸化炭素を溶解させて加熱することで二酸化炭素を取り除いた蒸留水、二酸化炭素を取り除いた炭酸水の液性

	酸 性	中 性	アルカリ性
炭酸水	31人	0人	6人
水道水	15人	22人	0人
蒸留水	7人	24人	6人
炭酸水*	4人	30人	3人
水道水**	4人	24人	9人
蒸留水**	5人	23人	9人

*炭酸水を加熱して二酸化炭素を取り除く操作を行った。

**水道水、蒸留水に二酸化炭素をそれぞれ溶解して、加熱することで二酸化炭素を取り除く操作を行った。

に関しては、炭酸水に関しては、80%以上の生徒が液性が酸性と答えており日常生活や理科の授業・実験などから熟知していると考えられる。水道水は、アルカリ性であると答えた生徒は0%であり、アルカリ性の水溶液を飲むことは危険であると理解している生徒もいた。蒸留水は中性と考える生徒が64%であり、その性質から判断したことがうかがえる。二酸化炭素を除去した蒸留水や二酸化炭素を除去した水道水、二酸化炭素を除去した炭酸水に関しては、中性を示すものと予想した生徒が6割を占め、二酸化炭素が溶液から除去されることで、液性は酸性から中性になるものと理解している。二酸化炭素を含む水道水の液性を一部の生徒は「加熱すると二酸化炭素がなくなるが、他の物質が入っているので酸性になる」または「二酸化炭素がなくなるが、他の物質が入っているのでアルカリ性になる」と記載している。水道水には、いろいろな物質が溶解していることは認識しており、それらの物質は溶液の液性に影響すると予想している。これは、蒸留水と水道水との違いから発想されるものであり、科学的思考によるものと考えられる。

実験で炭酸水をつくる方法については、二酸化炭素と水を混合するということを多くの生徒があげている。その条件として、「ペットボトルに入れ、激しくふる」、「二酸化炭素を発生させてから水と混合する」、「二酸化炭素のガスボンベから取り出した二酸化炭素をとりだして、水と混合する」などの意見が見られた。もう少し発展した意見としては、「圧力をかけながら」といったコメントもあった。また、今回の実験に用いた「水にドライアイスを入れ溶かす」と記載した生徒もあり多面的な発想をしているようである。

溶液を加熱する際に、でてくる泡の成分についての調査では、小さい方の泡を二酸化炭素、大きな泡を酸素(14人)あるいはその逆(9人)に記載していた生

徒が60%程度あった。小さい方の泡を二酸化炭素とし大きな泡を空気とした生徒も4人いた。酸素と表現した生徒の多くは空気を指していたとも考えられる。大きな泡を水蒸気と答えた生徒は4人であり、その意識は薄いと思われる。実際の実験では、比較のために市販の炭酸水を与えているので、小さな泡が二酸化炭素であることに気づくであろう。指導に当たっては、水の沸騰について説明する必要がある。

3.3. ドライアイスを溶かした蒸留水と水道水との差異

本実験では、ドライアイスを蒸留水と水道水に溶かした場合の違いから、水道水には様々な物質が含まれていて、それらの物質が液性に大きく関与していることを理解させることが大きなポイントであった。以下に、代表的な考察内容を示す。

生徒1.

水道水でできた炭酸水は他にもいろいろな物質が含まれているので、二酸化炭素を除去するとアルカリ性になる。蒸留水でできた炭酸水は二酸化炭素しか入っていないので、熱すると何も溶液中には残らない。そのため溶液は中性になることがわかった。

生徒2.

水道水は、二酸化炭素以外のアルカリ性を示す物質が溶けているので二酸化炭素を取り除くとアルカリ性になる。蒸留水は純粋な水なので二酸化炭素を取り除くと中性になる。二酸化炭素は溶液の性質を変えることがわかった。

生徒3.

蒸留水を冷やすと、溶液の色が緑色に戻った。溶液が冷えることで二酸化炭素が溶けやすくなり、空気中の二酸化炭素が蒸留水に溶けたためである。水道水は、二酸化炭素以外にアルカリ性を示すものが溶けているために結果的に青色になった。

生徒4.

加熱するとどちらの溶液も青色になった。加熱後、蒸留水のほうは溶液の色が緑色になった。冷やされて二酸化炭素が溶け込んだためと思う。

生徒 5.

水道水は、冷やしても溶液の色が青色のままであるが、蒸留水は冷やすと、また二酸化炭素は溶け込んできて緑色になったと思う。水道水のほうは、いろいろなものが入っているのでそのままであった。

生徒 6.

蒸留水のほうは一度溶液の色が青色になったが、さめてきたら空気中の二酸化炭素が溶液に入りやすくなり緑色になった。

生徒 7.

水道水は、二酸化炭素以外のアルカリ性のものがたくさん入っているので、加熱すると二酸化炭素が追い出されてアルカリ性になる。水道水は純粋な水であり、二酸化炭素がなくなると中性になる。

生徒 8.

水道水はアルカリ性になり蒸留水は中性になる。水道水に入っているものは熱しても取り除かれない。

生徒 9.

蒸留水は二酸化炭素しか入っていないので、二酸化炭素がなくなると何も入っていない中性の水になる。水道水は水や二酸化炭素以外のいろいろな物質が入っているので加熱するとアルカリ性を示した。

生徒10.

水道水がアルカリ性になったことから、水道水にはアルカリ性を示すものが含まれているのではないか。

生徒11.

水道水には二酸化炭素以外の物質がいろいろ溶けている。その物質のせいで溶液は青色になりアルカリ性である。また、蒸留水は水色になった。純すいな水であるが何か溶けていたからかもしれない。冷やすと空気中の二酸化炭素が溶けて緑色になったと思う。

生徒12.

水道水は熱するとアルカリ性になった。水道水は、熱してもなくなるいものが含まれている。蒸留水は混ざっているものがないため、酸性をしめす二酸化炭素がなくなれば中性の蒸留水になる。

以上の結果から、水道水はいろいろな物質を含んでいることを多くの生徒が理解していることが明らかである。また、それらの物質は溶液中でアルカリ性を示す物質であることも生徒が推測できるものと考えられる。さらに、その理由については高等学校での化学分野の学習において理解されるものとなる。

4. おわりに

今回の授業を改善するために、まず目標を水溶液の性質が溶質の性質により決まることに限定し、授業時間の前半で加熱実験を終える展開にすることが考えられる。また、水溶液への溶質の溶け方や、溶けている塩の性質が現れることなどを復習させるとともに、色紙を利用するなど発表の仕方を工夫し、各班の結果を比較しやすくするなどを検討していきたい。

参考文献

- [1] 文部科学省 (1999) 「小学校学習指導要領解説 理科編」東洋館出版社。
- [2] 文部科学省 (1999) 「中学校学習指導要領解説 理科編」大日本図書。
- [3] 文部科学省 (1999) 「高等学校学習指導要領解説 理数編」大日本図書。
- [4] 荘司隆一 (2003) 「化学と教育」51, 544.
- [5] 米沢剛至 (1999) 「化学と教育」47, 718.
- [6] 黒河伸二・松田篤士・成富利英 (1999) 「化学と工業」47, 774-777.
- [7] 米世源八 (2001) 「化学と教育」49, 198-199.
- [8] 木村貴 (2001) 「化学と教育」49, 196-197.
- [9] 池田佳太郎・安藤秀俊 (2008) 「科教研報」22, 121-124.
- [10] 杉本良一・神林久美子 (2006) 「地域学論集」3, 204-237.
- [11] 中里勝平 (1996) 「北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要」8, 15-16.
- [12] 伊福龍哉 (1998) 「化学と教育」46, 720-721.

